

Nina Yliaska

**RÖNTGENSÄTEILYN VAIMENEMINEN HIILINANOKUITUPUTKILLA
KYLLÄSTETYSSÄ SELLULOOSAKUITUMATERIAALISSA**

**RÖNTGENSÄTEILYN VAIMENEMINEN HIILINANOPUTKILLA
KYLLÄSTETYSSÄ SELLULOOSAKUITULEVYSSÄ**

Nina Yliaska
Opinnäytetyö
Syksy 2014
Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Radiografian ja sädehoidon koulutusohjelma

Tekijä(t): Nina Yliaska

Opinnäytetyön nimi: Röntgensäteilyn vaimeneminen hiilinanoputkilla kyllästetyssä selluloosakuitulevyssä

Työn ohjaaja(t): Anja Henner

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2014

Sivumäärä: 28 + 8 liitesivua

Säteilylaitteiden käyttötilojen säteilysuojaus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei säteilyn käytöstä aiheudu varaa työntekijöille tai muille henkilöille. Käytetyimpiä suojusmateriaaleja ovat lyijy ja betoni. Alustavien tutkimusten mukaan hiilinanoputkien (carbon nanotubes, CNT) on havaittu vaimentavan röntgensäteilyä tehokkaasti ja Mfibrils Oy on kiinnostunut hyödyntämään tätä ominaisuutta kehittäessään uusia entistä kevyempiä ja ohuempia vaimennusmateriaaleja.

Tässä työssä tutkittiin röntgensäteilyn vaimenemista hiilinanoputkilla kyllästetyssä selluloosakuitumateriaalissa. Työn tarkoituksena oli määrittää kokeellisten mittausten avulla kyseisen materiaalin matkavaimennuskerroin ja puoliintumispaksuus sekä tarkastella eri mittausasetelmien avulla vaimennusmateriaalissa syntyvän sekundaarisäteilyn vaikutusta puoliintumispaksuuteen. Tavoitteena on tuottaa Mfibrils Oy:lle tietoa sekä testimateriaalin ominaisuuksista että eri mittausasetelmista. Saatua tietoa voidaan hyödyntää uusien vaimennusmateriaalien kehittäessä ja jatkotutkimusten suunnittelussa.

Mittaukset suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun sosiaali- ja terveysyksikön röntgenharjoitteluluokassa. Mittalaitteena käytettiin Unfors Mult-O-Meter 581 -mittaria ja kaikki mittaukset tehtiin leveän keilan geometriassa. Materiaalin matkavaimennuskerroin määritettiin 100 kV putkijännitteellä ja puoliintumispaksuus määritettiin 50 kV, 70 kV, 100 kV, 125 kV ja 140 kV putkijännitteillä. Eri mittausasetelmien avulla tarkasteltiin myös sekundaarisäteilyn vaikutusta puoliintumispaksuuteen.

Mittausten perusteella CNT-kuitumateriaalin puoliintumispaksuus on monisatakertainen verrattuna lyijyn puoliintumispaksuuteen, mutta ero betonin puoliintumispaksuuteen on huomattavasti pienempi. 50 kV:n putkijännitteellä säteilymäärän puolittamiseen tarvitaan CNT-kuitumateriaalia 4,3-kertainen paksuus betoniin verrattuna, ja 125 kV:n putkijännitteellä annoksen puoliintumiseen riittää 2,5-kertainen määrä CNT-kuitumateriaalia betoniin verrattuna. Mittauksissa käytetyt eri mittausasetelmat osoittivat, että sekundaarisäteilyä syntyy merkittävästi myös kevyissä materiaaleissa. Detektorin ollessa kiinni vaimennusmateriaalissa puoliintumispaksuus oli jopa 17,5 % suurempi kuin detektorin ollessa 20 cm etäisyydellä vaimennusmateriaalista.

Jatkotutkimushaasteena olisi levyjen valmistusprosessin kehittäminen ja mittausten tekeminen levyillä, joihin on kyllästetty useita eri pitoisuuksia hiilinanoputkia. Vastaavanlaisia mittauksia voisi toteuttaa kokeellisesti myös muille materiaaleille.

Asiasanat: röntgensäteilyn vaimeneminen, hiilinanoputki, matkavaimennuskerroin, puoliintumispaksuus, sekundaarisäteily

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Radiography and Radiation Therapy

Author(s): Nina Yliaska

Title of thesis: Attenuation of X-ray Beams in a Cellulose Fibre Material Saturated With Carbon Nanotubes

Supervisor(s): Anja Henner

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2014

Number of pages: 28, 8 appendix pages

Diagnostic X-ray facilities must be shielded in that way that the use of the X-rays causes no harm to radiation workers or members of the public. The most used shielding materials are lead and concrete. However, carbon nanotubes are reported to have outstanding x-ray shielding effects and could thus be used in fabrication of light-weight and efficient X-ray shielding materials.

Purpose of this study was to experimentally determine the attenuation coefficient and the half-value layer (HVL) of a cellulose fibre material saturated with carbon nanotubes (CNT) and to examine the effect of the secondary electrons by varying the geometry in the measurement of attenuation. The aim of this study was to provide information about both the X-ray attenuation qualities of the CNT saturated material and the effect of the geometry in the measurement of attenuation.

Measurements of this study were done with broad beam geometry. The attenuation coefficient of the CNT saturated material was determined for 100 kV tube voltage. The half-value layers of the test material were determined for 50 kV, 70 kV, 100 kV, 125 kV and 140 kV tube voltages. By varying the measurement geometry, the effect of secondary electron emission for the half-value layer was examined.

The measurement results indicated that the half-value layer of the CNT saturated material is many hundred times greater compared to the HVL of lead. However, when compared to concrete the difference between HVLs were significantly smaller. With 50 kV tube voltage the HVL of the test material was 4,3 times greater than the HVL of concrete and with 125 kV tube voltage the ratio of HVL-values was 2,5. The varied measurement geometries which were used in this study indicated that the effect of secondary electron emission is significant even with light-weight materials. When the detector was in contact with the attenuation material the HVL was as much as 17,5 % greater than when the distance between the detector and the attenuation material was 20 cm.

The challenge for further studies is to improve the process of manufacture of the CNT saturated material and to carry out the measurements with materials containing different percentages of CNT. The methods used in this study could be utilized even when studying other attenuation materials.

Keywords: X-ray attenuation, carbon nanotube, attenuation coefficient, half-value layer, secondary electron emission

SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	6
2 RÖNTGENSÄTEILY JA SEN VAIMENEMINEN.....	7
2.1 Röntgensäteilyn vuorovaikutus aineen kanssa.....	7
2.2 Röntgensäteilyn vaimeneminen.....	9
2.3 Katsaus aiempiin tutkimuksiin röntgensäteilyn vaimenemisesta väliaineessa	10
3 TUTKIMUSMETODOLOGIA.....	12
4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSONGELMAT	13
5 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN.....	14
5.1 Aineiston keruu.....	14
5.2 Mittausten suorittaminen.....	14
5.2.1 Matkavaimennuskertoimen määrittäminen	16
5.2.2 Puoliintumispaksuuden määrittäminen	17
5.3 Aineiston käsittely ja analysointi.....	19
6 TUTKIMUSTULOKSET.....	20
6.1 Matkavaimennuskerroin.....	20
6.2 Puoliintumispaksuus	20
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	23
8 POHDINTA.....	24
8.1 Tutkimustulosten tarkastelu	24
8.2 Tutkimuksen luotettavuus ja turvallisuus	25
8.3 Omat oppimiskokemukset ja jatkotutkimushaasteet	26
LÄHTEET	27

1 JOHDANTO

Säteilylaitteiden käyttötilojen säteilysuojaus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei säteilyn käytöstä aiheudu varaa työntekijöille tai muille henkilöille. Käytetyimpiä suojausmateriaaleja ovat lyijy ja betoni, ja esimerkiksi tavanomaisen röntgentutkimushuoneen rakenteisiin vaaditaan vähintään 2 mm kerros lyijyä tai 20 cm kerros betonia (Karppinen 2011, 25). Lyjyn raskaus ja tarvittavan betonikerroksen paksuus asettavat haasteita suojausrakenteiden käytännön toteutukselle, joten kevyemmälle ja ohuemmalle vaimennusmateriaalille olisi varmasti kysyntää.

Paperia valmistettaessa syntyy sivutuotteena lyhyttä sellukuitua, jota ei voida hyödyntää itse paperinvalmistusprosessissa. Mfibrils Oy käyttää tätä ylijäämämateriaalia mm. rakentamisessa käytettävien kuitulevyjen valmistukseen. Alustavien tutkimusten mukaan hiilinanoputkien (carbon nanotubes, CNT) on havaittu vaimentavan röntgensäteilyä tehokkaasti (Fujimori, Tsuruoka, Fugetsu, Maruyama, Tanioka, Terrones, Dresselhaus, Endo & Kaneko 2011, 273-278) ja Mfibrils Oy on kiinnostunut hyödyntämään tätä ominaisuutta kuitulevyjen valmistuksessa. (Mäentausta 10.12.2013, keskustelu)

Tämän työn tarkoituksena on mitata röntgensäteilyn vaimenemista hiilinanoputkillla saostetuissa selluloosakuitulevyissä. Tavoitteena on, että opinnäytetyön raportin ja tulosten pohjalta Mfibrils Oy voi arvioida, voisiko tutkittavaa CNT-kuitumateriaalia hyödyntää esimerkiksi röntgenkuvaustilojen rakenteellisissa suojauksissa. Tämän työn tulosten pohjalta Mfibrils Oy voi myös suunnitella mahdollisia tarkempia jatkotutkimuksia.

2 RÖNTGENSÄTEILY JA SEN VAIMENEMINEN

2.1 Röntgensäteilyn vuorovaikutus aineen kanssa

Röntgensäteily koostuu massattomista ja sähkövarauksettomista energiapakkauksista, fotoneista, jotka kulkevat tyhjiössä valon nopeudella. Säteilyn energia voidaan ilmaista fotonien energian avulla, ja se on kääntäen verrannollinen säteilyn aallonpituuteen. Röntgensäteily on välillisesti ionisoivaa sähkömagneettista säteilyä, eli röntgensäteilyn vuorovaikutus aineen kanssa tuottaa ionisoivia sekundaarihiukkasia. Säteilysuojelun kannalta merkittäviä vuorovaikutuksia ovat klassinen sironta, valosähköinen ilmiö, Comptonin ilmiö, parinmuodostus ja fotodydinreaktio. (Bushong 2001, 57-59; Sandberg & Paltemaa 2002, 44.)

Vuorovaikutusten todennäköisyyttä voidaan kuvata vaikutusalalla (σ), massavaimennuskertoimella (μ/ρ) tai matkavaimennuskertoimella (μ). Vaikutusala ilmaistaan atomia tai hiukkasta kohden, mutta matkavaimennuskertoimessa otetaan huomioon myös atomien määrä tilavuusyksikköä kohden. Massavaimennuskerrointa käytettäessä voidaan lisäksi ottaa huomioon aineen tiheys ρ . (Tapiovaara, Pukkila, & Miettinen 2004, 29-30.)

Gammasäteilyn matkavaimennuskertoimia 100 keV energialla eri materiaaleille on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Gammasäteilyn matkavaimennuskertoimia 100 keV energialla eri materiaaleille (Shleien, Slaback & Birsky 1998)

	hiili	alumiini	rauta	kupari	lyijy	ilma	vesi	betoni
μ	0,340	0,459	2,902	4,076	62,715	$1,987 \cdot 10^{-3}$	0,171	0,071

Klassinen sironta

Klassisessa sironnassa fotonin voi muuttaa suuntaa törmätessään väliaineen atomin elektroneihin, mutta sen energia pysyy samana. Tällä sironnalla on merkitystä vain raskaissa väliaineissa, kun fotonin energia on pieni (Sandberg & Paltemaa 2002, 44). (Bushong 2001, 165.)

Valosähköinen ilmiö

Matalilla energioilla (lyijyssä alle 0,6 MeV ja kudoksessa alle 30 keV) merkittävin vuorovaikutus on valosähköinen ilmiö, jossa vuorovaikutukseen osallistuvat pääsääntöisesti tiukasti sitoutuneet atomin sisäkuorten elektronit. Valosähköisessä ilmiössä fotonin luovuttaa kaiken energiansa törmätessään väliaineen atomin elektroniin. Osa fotonin energiasta kuluu elektronin irrottamiseen atomista ja jäljelle jäänyt energia muuttuu törmäyksen kohteena olevan elektronin liike-energiaksi. Irtonneen elektronin jättämä aukko täyttyy välittömästi ulomman kuoren elektronilla, ja samaan aikaan syntyy karakteristista röntgensäteilyä. Matalasta energiasta johtuen karakteristinen säteily absorboituu lähellesyntypaikkaansa. Valosähköisen ilmiön vaimennuskerroin on voimakkaasti riippuvainen atomin järjestysluvusta ja tästä johtuen raskaat materiaalit absorboivat röntgensäteilyä tehokkaasti. (Bushong 2001, 167; Sandberg & Paltemaa 2002, 46.)

Comptonin ilmiö

Comptonin ilmiössä röntgensäteilyn fotonit törmäävät väliaineen atomien uloimpiin elektroneihin, joiden sidosenergia on paljon pienempi kuin fotonien energia. Törmäyksessä fotonin siroaa luovuttaen osan energiastaan elektronille, joka irtaantuu kuoresta. Tämän siroonassa syntyvän sekundaarielektronin energia absorboituu nopeasti väliaineeseen. Comptonin ilmiössä siroonneen fotonin energia riippuu sirontakulmasta ja fotonin alkuperäisestä energiasta, ja fotonin voi aiheuttaa useita vuorovaikutuksia ennen kuin se menettää energiansa kokonaan. (Bushong 2001, 165-166; Sandberg & Paltemaa 2002, 47.)

Parinmuodostus

Jos fotonin energia on vähintään 1,02 MeV, se voi joutua väliaineen atomin ytimen voimakkaaseen sähkökenttään ja hävitä. Fotonin hävitessä sen tilalle syntyy elektroni ja positiivisesti varautunut positroni, jotka kumpikin saavat puolet fotonin liike-energiasta. Parinmuodostuksessa syntyneet elektroni ja positroni menettävät energiaansa beetasäteilyn tavoin sirotessaan epäelastisesti väliaineen elektroneista ja ytimistä. Joidenkin törmäysten jälkeen elektronin vauhti hidastuu niin nopeasti, että osa elektronin menettämästä energiasta muuttuu sähkömagneettiseksi jarrutussäteilyksi. Jarrutussäteilyä syntyy sitä enemmän, mitä suurempi energia elektronilla on ja mitä suurempi on väliaineen järjestysluku. Tämä on syytä huomioida säteilysuojausta suunniteltaessa siten, että säteily on pyrittävä hidastamaan materiaalissa, jonka järjestysluku on mahdollisimman pieni. (Sandberg & Paltemaa 2002, 40-47.)

Parinmuodostuksessa syntynyt positroni yhdistyy hidastumisen loppuvaiheessa elektroniin, jolloin hiukkaset häviävät ja niiden massaa vastaava energia vapautuu häviämisseiteilynä. Tätä tapahtumaa kutsutaan annihilaatioksi, ja lopputuloksena on kaksi vastakkaiseen suuntaan lähtevää 511 keV:n fotonia. Parinmuodostus on tärkein vuorovaikutusmuoto suurilla energioilla, esimerkiksi lyijyssä yli 5 MeV:n ja kudoksessa yli 20 MeV:n energialla (Sandberg & Paltemaa 2002, 47). (Bushong 2001, 170.)

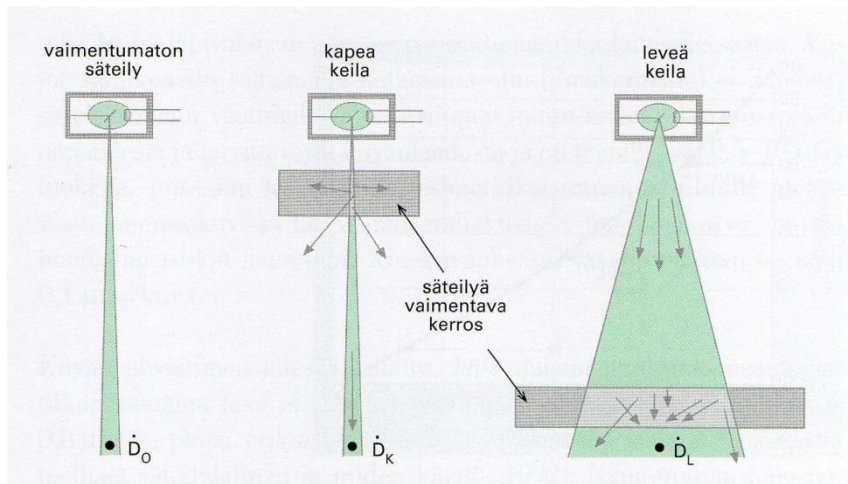
Fotoydinreaktio

Kun fotonin energia ylittää 10 MeV, fotoni voi välttää reaktiot väliaineen atomin elektronien ja ytimen sähkökentän kanssa ja absorboitua suoraan ytimeen. Fotonin absorboituessa ytimeenytimestä irtaana nukleoni. Fotoydinreaktioiden vaikutusalat ovat hyvin pieniä verrattuna muihin vuorovaikutuksiin (Sandberg & Paltemaa 2002, 48). (Bushong 2001, 170.)

2.2 Röntgensäteilyn vaimeneminen

Röntgensäteilyn vaimenemisominaisuudet määräytyvät säteilyn energiaspektristä. Röntgenputkesta saatava säteily on useimmiten niin kovaa, ettei säteilyn absorptiota ilman tarvitse ottaa huomioon. Ilmassa säteily vaimenee etäisyyden neliölain mukaan, eli säteilyannos on kääntäen verrannollinen mittauspisteen ja röntgenputken fokuksen välisen etäisyyden neliöön. (Tapiovaara ym. 2004, 31, 166.)

Röntgensäteilyn jatkuvan spektrin matalat energiat absorboituvatväliaineeseen ensimmäisenä. Säteilyn läpäistessä peräkkäisiä ainekerroksia jäljelle jää aina entistä suurempienergistä säteilyä eli säteily kovenee. Samalla säteilyn vaimeneminen hidastuu. Säteilyn vaimenemiseen väliaineessa vaikuttaa aina myös mittausgeometria (katso kuvio 1). Kapeassa keilassa jokainen vuorovaikutus poistaa säteilystä fotonin, mutta leveässä keilassa myös sekundaarisäteilyä pääsee mittalaitteelle. Leveän keilan geometriassa säteilyn vaimeneminen on siten vähäisempää kuin kapean keilan geometriassa. (Tapiovaara ym. 2004, 31-32, 170.)



KUVIO 1. Kapean ja leveän keilan mittausgeometriat (Tapiovaara ym. 2004, 170)

Röntgensäteilyn läpitunkevuutta ja vaimenemista kuvataan usein puoliintumispaksuuden (HVL, Half Value Layer) avulla. Puoliintumispaksuudella tarkoitetaan sitä ainekerroksen paksuutta, joka tarvitaan pienentämään säteilyn annosnopeus puoleen alkuperäisestä arvostaan. Kapean keilan geometriassa tehdyt HVL-mittaukset soveltuvat esimerkiksi laadunvarmistukseen, mutta säteilysuojelun yhteydessä HVL määritetään leveässä keilassa. Kuviossa 2 on ilmoitettu HVL-arvoja eri jännitteille lyijyn ja betonin avulla. (Tapiovaara ym. 2004, 26, 169-171.)

Röntgenputken jännite (kV)	HVL (mm)	
	Lyijy	Betoni
35	0,03	2,8
50	0,05	7
70	0,12	11
100	0,25	16
125	0,28	19
150	0,30	22

KUVIO 2. Lyijyn ja betonin avulla ilmaistuja HVL-arvoja (Tapiovaara ym. 2004, 354)

2.3 Katsaus aiempiin tutkimuksiin röntgensäteilyn vaimenemisesta väliaineessa

Archer, Fewell, Conway & Quinn (1994, 1499-1507) ovat tehneet mittauksia röntgensäteilyn vaimenemisesta eri suojausmateriaaleissa: lyijy, teräs, lasi, kipsilevy, lyijyakryyli ja puu. Mittaukset tehtiin leveän keilan geometrialla ja käytetyt putkijännitteet olivat 50 kV, 70 kV, 100 kV, 125 kV ja 150 kV. Tulosten perusteella määritettiin HVL-arvot ja eri materiaalien lyijyvastaavuus.

Akber, Das & Kehwar (2008, 197-202) tutkivat tarkemmin eri parametrien vaikutusta leveän keilan geometrialla tehtyihin röntgensäteilyn vaimenemismittauksiin lyijyssä. Tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota erityisesti detektorin (ionisaatiokammio) kokoon sekä vaimennusmateriaalin ja detektorin väliseen etäisyyteen. Jo Archer ym. (1998, 1500) olivat huomioineet detektorin etäisyyden, mutta päätyneet siihen, etteivät mittaustulokset eronneet merkittävästi toisistaan detektorin ja vaimennusmateriaalin etäisyyden ollessa 5-15 cm. Akber ym. (2008, 198) perustelivat detektorin etäisyyden vaikutuksen tarkempaa tutkimista käytännön näkökulmasta siten, että esimerkiksi lyijyessujen tapauksessa suojattava kohde on suojan välittömässä läheisyydessä, kun taas rakenteelliset suojat ovat paksumpia, joten kohde on vähintään 20-30 cm etäisyydellä. He perustelivat lisätutkimusten tarvetta viitaten mm. Wagnerin & Mulhernin (1996, 45-8) tutkimukseen, jonka mukaan kirurgisissa hanskoissa syntyvät sekundaarielektronit lisäävät säteilyn määrää merkittävästi.

Akberin ym. (2008, 197-202) tutkimuksen tuloksena oli, että lukuun ottamatta hyvin suuria detektoreita (ionisaatiokammio, jonka tilavuus oli 600 cm³) detektorin koolla ei ole huomattavaa vaikutusta mittaustuloksiin. Mittausetäisyydellä sen sijaan on merkitystä, sillä kaikkein suurimmat annokset mitattiin silloin, kun detektori oli kiinni vaimennusmateriaalina käytetyssä lyijyssä. Akberin ym. (2008, 200) mukaan tulos selittyy sekundaarisäteilyllä. Koska lyijyn järjestysluku on suuri eli se on raskas alkuaine, siinä syntyy huomattava määrä sekundaarisäteilyä. Mikäli detektori on kiinni vaimentavassa kerroksessa, iso osa sekundaarisäteilyä päätyy detektorille. Vastaavasti detektorille päätyvän sekundaarisäteilyn osuus pienenee kun detektorin etäisyyttä kasvatetaan.

Fujimori ym. (2011, 273-278) tutkivat röntgensäteilyn vaimenemista erilaisissa hiilinanokuiturakenteissa. Tutkimuksen mukaan hiilinanoputkirakenteiden kyky vaimentaa röntgensäteilyä on huomattavasti parempi kuin grafiitilla, eli hiilen yleisimmällä ilmenemismuodolla. 50 kV putkijännitteellä mitattuna erilaisten CNT-materiaalien massavaimennuskertoimet olivat 20-50 % suurempia kuin grafiitilla. Fujimorin ym. (2011, 277) havainnot eivät vielä ole selitettävissä tavanomaisella röntgensäteilyn vaimenemisteorialla, mutta tutkijat uskovat selityksen löytyvän CNT-materiaalien sylinterinmallisesta nanorakenteesta. Fujimori ym. (2011, 273-278) tutkivat myös CNT-materiaalilla päällystetyn kankaan kykyä absorboida röntgensäteilyä ja ennakoivat tulostensa perusteella, että tulevaisuudessa vastaavia tekstiileitä voitaisiin mahdollisesti hyödyntää entistä keveämpien suojavaatteiden valmistuksessa.

3 TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tutkimusotteeltaan tämä opinnäytetyö on kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimus (ks. Kananen 2008, 10-13). Kvantitatiivisessa tutkimuksessa keskeisiä ovat aiemmat teoriat sekä aiemmista tutkimuksista tehdyt johtopäätökset. Koejärjestelyistä tehdään suunnitelmat siten, että havaintoaineisto soveltuu numeeriseen mittaamiseen. Muuttujat taulukoidaan, aineisto saatetaan tilastollisesti käsiteltävään muotoon ja päätelmät tehdään tilastolliseen analysointiin perustuen. (Hirsijärvi, Remes & Sajavaara 2010, 140.) Tässä työssä tutkimustuloksia analysoidaan ja havainnollistetaan kuvaajien ja taulukoiden avulla. Mittausten avulla kerätyn aineiston perusteella määritetään röntgensäteilyn vaimennuskerroin ja puoliintumispaksuus CNT-kuitumateriaalille eri kuvausjännitteillä.

Tämä opinnäytetyö on tutkimusstrategialtaan kokeellinen tutkimus. Mittaukset tehdään harkitusti ja systemaattisesti siten, että mittausgeometria pidetään vakiona ja kuvausparametrejä ja testimateriaalin paksuutta muunnellaan. Ennen mittauksia käydään läpi laitteiden laadunvarmistusraportit, jotta varmistutaan siitä, että laitteet toimivat luotettavasti. (ks. Hirsijärvi ym. 2010, 134.)

4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITE JA TUTKIMUSONGELMAT

Työn tarkoituksena on mitata röntgensäteilyn vaimenemista hiilinanoputkillä kyllästetyssä selluloosakuitumateriaalissa. Tavoitteena on, että opinnäytetyön raportin ja tulosten pohjalta Mfibrils Oy voi arvioida, voisiko tutkittavaa CNT-kuitumateriaalia hyödyntää esimerkiksi röntgenkuvaustilojen rakenteellisissa suojauksissa. Tämän työn tulosten pohjalta Mfibrils Oy voi myös suunnitella mahdollisia tarkempia jatkotutkimuksia.

Tutkimus pyrkii vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

1. Mikä on hiilinanokuituputkillä kyllästetyn selluloosakuitumateriaalin matkavaimennuskerroin 100 kV:n putkijännitteellä?
2. Mikä on hiilinanokuituputkillä kyllästetyn selluloosakuitumateriaalin puoliintumispaksuus 50 kV:n, 70 kV:n, 100 kV:n, 125 kV:n ja 140 kV:n putkijännitteillä?
3. Mikä on vaimennusmateriaalissa syntyvän sekundaarisäteilyn vaikutus puoliintumispaksuuteen?

5 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

Tutkimus tehtiin Oulun ammattikorkeakoulun sosiaali- ja terveystieteiden röntgenharjoitteluluokassa, jossa on käytössä Philipsin röntgenputki. Testattavat levyt ja mittausta varten tehdyn lyijyvuoratun laatikon sain käyttööni Mfibrils Oy:ltä. Mittalaitteena käytettiin koulun röntgenluokasta löytyvää Unfors Mult-O-Meter 581 -mittaria, jolla voidaan mitata kuvausjännitettä, annoskertymää, annosnopeutta ja säteilytysaika. Koska mittaustuloksia on tarkoitus soveltaa säteilysuojaukseen, kaikki mittaukset tehtiin leveän keilan geometriassa. Ennen mittausten aloittamista tehtiin tutkimussuunnitelman pohjalta yhteistyösopimus, jonka allekirjoittivat opinnäytetyön tekijän lisäksi Olli Mäentausta Mfibrils Oy:n puolesta ja ohjaava opettaja Anja Henner.

5.1 Aineiston keruu

Ennen mittausten suorittamista suunniteltiin mittaustaulukot tulosten kirjaamista varten. Erilliset mittaustaulukot tehtiin sekä matkavaimennuskertoimen (liite 1) että puoliintumispaksuuden määrittämistä varten (liite 2). Tutkimussuunnitelman mukaan matkavaimennusvakio oli tarkoitus määrittää usealle eri vaimennusmateriaalille hiilinanoputkipitoisuuden (vol%) mukaan, mutta tuotannollisista ja aikataulullisista syistä johtuen mittaukset suoritettiin vain materiaalille, jonka tilavuudesta 30 prosenttia on hiilinanoputkia.

5.2 Mittausten suorittaminen

Ennen varsinaista aineiston keruuta esitetasin mittausasetelman. Sain Mfibrils Oy:ltä käyttööni mittatilaustyönä tehdyn laatikon (kuviot 3), johon annosmittarin saa kiinnitettyä kahdelle eri etäisyydelle mitattavista testilevyistä. Laatikon päällä on hieman testilevyjen ympärystämää pienempi aukko mitattavan säteilyn läpäisyä varten, mutta muuten laatikko on vuorattu lyijyllä, jotta sironneen säteilyn vaikutus mittaustuloksiin saadaan minimoitua. Puoliintumispaksuutta mitattaessa testilevyjä pinottiin päällekkäin mittauslaatikon aukon päälle (kuviot 4).

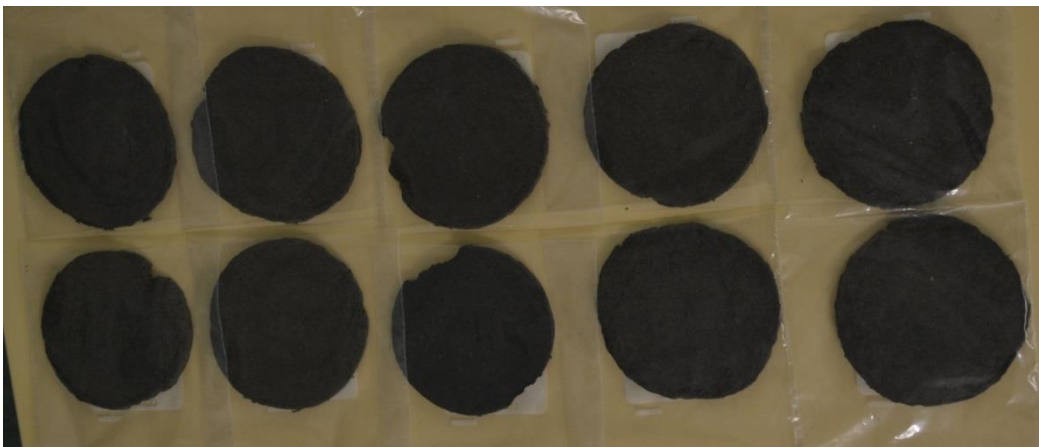


KUVIO 3. Lyijyvuorattu mittauslaatikko (Nina Yliaska 2014)



KUVIO 4. Mittauslevyt pinottuna mittauslaatikon päälle (Nina Yliaska)

Mittauslevyt oli valmistettu selluloosakuitumateriaalista, johon oli kyllästetty hiilinanoputkia 30 tilavuusprosenttia. Turvallisuus- ja siisteysystä jokainen testilevy pakattiin tiiviiseen muovipussiin ja pussit numeroitiin, jotta levyt pystyttiin tarvittaessa erottamaan toisistaan. Kaikki testilevyt olivat halkaisijaltaan noin 11 cm ja paksuudeltaan 0,5 cm. Valmistusprosessin haasteellisuudesta johtuen levyt olivat silminnähden epätasalaatuisia, osa levyistä oli taipunut kuperiksi ja osa oli reunoista murentuneita. Kuviossa 5 on nähtävissä mittauksissa käytetyt testilevyt.



KUVIO 5. Mittauksissa käytetyt testilevyt (Nina Yliaska 2014)

Levyjen satunnaisesta kuperuudesta johtuen levyjä ei voinut pinota tiiviisti toisiaan vasten ja levyjen väliin jäi ilmaa. Tämä oli kuitenkin hyväksyttävä, sillä valmistusprosessin kehittäminen vie aikaa ja aikataulullisista syistä mittaukset oli tehtävä sillä hetkellä saatavilla olevilla levyillä. Levyjen vaihtelevan koon ja muodon vuoksi valitsin kenttäkoon suhteellisen pieneksi (5 x 5 cm), jotta mitattava säteilykeila varmasti kulkee jokaisen vaimennuslevyn läpi. Esitestauksen yhteydessä päädyin tekemään sekä matkavaimennuskertoimen että puoliintumispaksuuden määrittämistä varten tehtävät mittaukset ilman lisäsuodatusta, kokonaissuodatuksen ollessa tällöin 2,72 mmAl. Valinnalla pyrin sujuvoittamaan mittauksia ja minimoimaan inhimillisten virheiden mahdollisuutta.

5.2.1 Matkavaimennuskertoimen määrittäminen

Matkavaimennuskertoimen määrittystä varten tarvitaan tieto säteilyn intensiteetistä sekä vaimennusmateriaalin pinnalla että säteilyn kuljettua vaimennusmateriaalin läpi. Säteilyannos mitattiin ensin metrin etäisyydellä röntgenputkesta, ilman vaimennuslevyä. Tämän jälkeen säteilyannos mitattiin siten, että testikappale asetettiin metrin etäisyydelle röntgenputkesta ja mittari asetettiin testilevyn taustapuolta vasten säteilykeilan jatkeeksi. Kuvioissa 6 ja 7 on esitetty mittarin ja testilevyn asettelu mittausasetelmaan matkavaimennuskertoimen määrittämistä varten.



KUVIO 6. Unfors Mult-O-Meter 581 -mittari kiinnitettynä mittauslaatikkoon (Nina Yliaska 2014)



KUVIO 7. Testilevy asetettuna kiinni Unfors Mult-O-Meter 581 -mittariin (Nina Yliaska 2014)

Matkavaimennuskerroin määritettiin kahdelle eri testilevyille. Testilevyiksi valittiin kaksi tummuudeltaan silmämääräisesti eniten toisistaan poikkeavaa levyä, jotta voitiin arvioida levyjen epätasalaatuisuuden vaikutusta tuloksiin. Levyjen paksuus vaihteli hieman mittauskohdasta riippuen, mutta levyjen paksuuden keskiarvoksi saatiin 0,5 cm. Kuvausarvoina käytettiin 100 kV ja 10 mAs ja kenttäkoko (5 x 5 cm) pidettiin samana läpi mittausten. Luotettavuuden lisäämiseksi jokainen mittaus toistettiin viisi kertaa ja tulokset kirjattiin käsin ennalta suunniteltuun taulukkoon (liite 1). Mittaustulokset ovat näkyvillä liitteessä 3.

5.2.2 Puoliintumispaksuuden määrittäminen

Puoliintumispaksuuden määrittämistä varten säteilyannos mitattiin ensin metrin etäisyydellä röntgenputkesta ilman vaimennuslevyä. Tämän jälkeen säteilyannos mitattiin siten, että mittari oli edelleen metrin etäisyydellä röntgenputkesta, mutta mittarin päälle asetettiin yhdestä kymmeneen kappaletta testilevyä. Esitestauksen yhteydessä huomasin, että puoliintumispaksuutta varten tehtävät mittaukset oli sujuvinta suorittaa siten, että kaikki kymmenen levyä kasattiin ensin päällekkäin ja mittausten edetessä pinosta poistettiin levyjä yksi kerrallaan. Tällöin levypino pysyi mahdollisimman stabiilina mittausten ajan. Testilevyjä poistettiin yksitellen ja vaimentunut säteilyannos mitattiin jokaisen poiston jälkeen. Kuviossa 8 on esitetty puoliintumispaksuuden määrittämisessä käytetty kuvausasetelma.



KUVIO 8. Mittausasetelma puoliintumispaksuutta määritettäessä (Nina Yliaska 2014)

Jokaisessa eri asetelmassa mittaukset tehtiin viidellä eri putkijännitteellä (50 kV, 70 kV, 100 kV, 125 kV, 140 kV) sähkömäärän (10 mAs) ja kenttäkoon (5 x 5 cm) pysyessä samana läpi mittausten. Luotettavuuden lisäämiseksi mittaukset toistettiin viisi kertaa. Mittausten yhteydessä tulokset kirjattiin käsin ennalta suunniteltuun taulukkoon (liite 2). Mittaustulokset ovat näkyvillä liitteessä 4.

Jotta voitiin arvioida sekundaarisäteilyn vaikutusta puoliintumispaksuuteen, HVL-mittaukset tehtiin myös siten, että mittari oli 20 cm etäisyydellä vaimennuslevyistä. Säteilyannos mitattiin siis ensin 1,2 metrin etäisyydellä röntgenputkesta ilman vaimennuslevyä. Tämän jälkeen mittaukset suoritettiin viidellä eri putkijännitteellä edellä kuvatulla tavalla, mittarin ollessa 20 cm etäisyydellä vaimennuslevyistä. Mittausten yhteydessä tulokset kirjattiin käsin ennalta suunniteltuun taulukkoon (liite 2). Mittaustulokset on esitetty liitteessä 5.

5.3 Aineiston käsittely ja analysointi

Mittausten suorittamisen jälkeen käsin kirjatut mittaustulokset syötettiin Excel-taulukoihin ja mittaustuloksista laskettiin keskiarvot. Mittaustulosten keskiarvojen pohjalta määritettiin matkavaimennuskerroin ja puoliintumispaksuudet eri putkijännitteille.

Matkavaimennuskerroin μ johdettiin kaavasta (1)

$$D = D_0 e^{-\mu t} \quad (1),$$

missä

D on säteilyannos vaimennusmateriaalin kanssa,

D_0 säteilyannos ilman vaimennusmateriaalia ja

t vaimennusmateriaalin paksuus. (Akber ym. 2008, 198.)

Kaavasta (1) saatiin matkavaimennuskertoimen μ määritelmäksi

$$\mu = \frac{\ln D_0 - \ln D}{t} \quad (2).$$

Puoliintumispaksuus määritettiin mittaustulosten pohjalta Excel-ohjelman avulla. Röntgensäteilyn absorptio on logaritmista, mutta aineisto muutettiin lineaariseen muotoon ottamalla jokaisesta mitatusta arvosta luonnollinen logaritmi. Kun piirrettiin kuvaaja, jonka x-akselilla on vaimennuskerroksen paksuus ja y-akselilla vaimennusmateriaalin läpäisseen säteilyannoksen luonnollinen logaritmi, saatiin lineaarisesti laskeva suora. Excel-ohjelman trendiviivan lisäys - ominaisuuden avulla määritettiin piirretyn suoran yhtälö. Kun yhtälöön sijoitettiin puoliintuneen säteilyannoksen luonnollinen logaritmi, saatiin yhtälö ratkaisemalla säteilyannoksen puoliintumiseen tarvittava vaimennusmateriaalin paksuus, HVL. (Haarala, Kumara & Lunbom 2010, 3, 6-8.)

6 TUTKIMUSTULOKSET

6.1 Matkavaimennuskerroin

Mittaustulosten perusteella lasketut matkavaimennuskertoimet kahdelle eri levyille on esitetty taulukossa 2. Levyn 10 matkavaimennuskerroin on noin 13 % suurempi kuin levyllä 1. Tämä voi selittyä sillä, että mittauslevy 10 on silmämääräisesti huomattavasti tummempi kuin levy 1, eli levyyn 10 on todennäköisesti kertynyt enemmän hiilinanoputkia kuin levyyn 1.

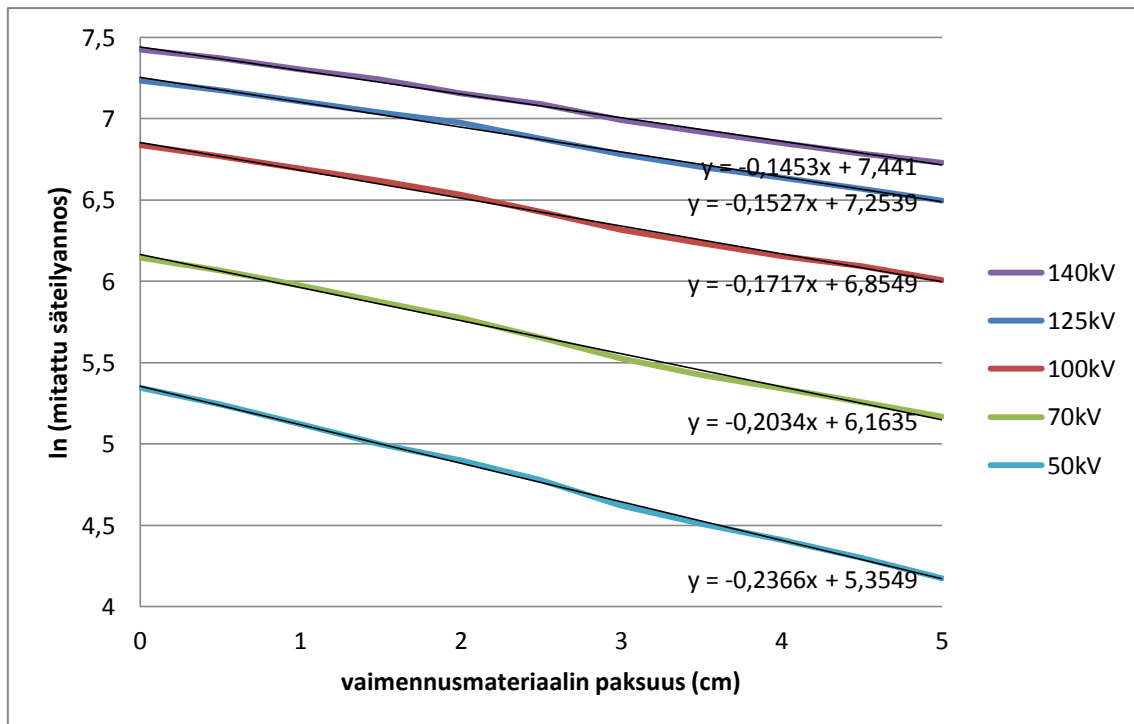
TAULUKKO 2. Mittaustulosten perusteella lasketut matkavaimennuskertoimet kahdelle eri testilevyille

Matkavaimennuskerroin (1/cm)	
Levy 1	Levy 10
0,15	0,17

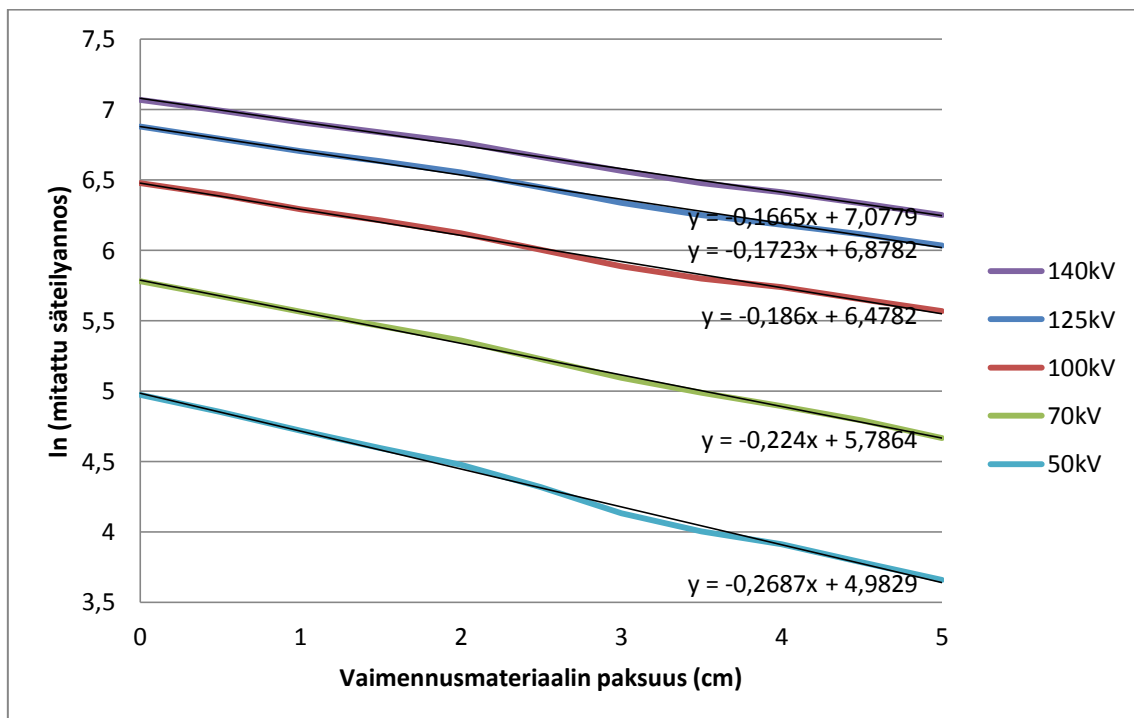
Kun saatuja arvoja verrataan taulukon 1 arvoihin huomataan, että mittauksissa käytetyn CNT-kuitumateriaalin matkavaimennuskertoimet ovat samaa suuruusluokkaa kuin vedellä. Fujimori ym. (2011, 273-278) saivat 50 kV monokromaattisella röntgensäteilyllä mitattuna määritettyä eri hiilimateriaaleille matkavaimennuskertoimet, jotka vaihtelivat suuruusluokassa 0,3-0,8 cm⁻¹. Tuloksia on kuitenkin vaikea verrata keskenään, koska eri tutkimuksissa käytetyt mittausasetelmat ja -parametrit eroavat toisistaan huomattavasti.

6.2 Puoliintumispaksuus

Mittaustulokset syötettiin Excel-tilukoon ja piirrettiin kuvaajat siten, että x-akselilla on vaimennuskerroksen paksuus ja y-akselilla vaimennusmateriaalin läpäisseen säteilyannoksen luonnollinen logaritmi. Kuviossa 9 on esitetty kuvaajat eri putkijännitteille, kun mittari on kiinni vaimennusmateriaalissa ja kuviossa 10 vastaavat kuvaajat, kun mittari on 20 cm etäisyydellä vaimennuslevyistä. Kuvioissa näkyy myös suorien yhtälöt, joiden perusteella määritettiin puoliintumispaksuudet eri jännitteille.



KUVIO 9. Röntgensäteilyn vaimeneminen CNT-kuitumateriaalissa, kun mittari on kiinni vaimennuslevyissä.



KUVIO 10. Röntgensäteilyn vaimeneminen CNT-kuitumateriaalissa, kun mittarin etäisyys vaimennusmateriaalista on 20 cm.

Taulukossa 3 on esitetty mittaustulosten perusteella lasketut puoliintumispaksuudet eri jännitteille. Arvot laskettiin sijoittamalla kuvioiden 9 ja 10 suorien yhtälöihin y:n arvoksi kullakin jännitteellä puoliintuneen säteilyannoksen luonnollinen logaritmi. Kuten taulukosta 3 huomataan, puoliintumispaksuudet ovat suurempia silloin, kun mittari on kiinni vaimennusmateriaalissa, ja pienenevät 11-15 %, kun etäisyyttä mittariin kasvatetaan. Mittarin ollessa kiinni vaimentavassa kerroksessa iso osa sekundaarisäteilyä päätyy mittarille, kun taas etäisyyttä kasvatettaessa mittarille päätyvän sekundaarisäteilyn osuus pienenee.

TAULUKKO 3. Mittaustulosten perusteella määritetyt puoliintumispaksuudet eri putkijännitteillä.

	HVL		HVL:n muutos etäisyyden kasvaessa 0cm → 20 cm
	mittarin etäisyys testilevyistä		
putkijännite	0 cm	20cm	
50 kV	3,0 cm	2,6 cm	-13 %
70 kV	3,5 cm	3,1 cm	-11 %
100 kV	4,2 cm	3,7 cm	-12 %
125 kV	4,7 cm	4,0 cm	-15 %
140 kV	4,9 cm	4,2 cm	-14 %

Kuviossa 2 on esitetty puoliintumispaksuudet eri putkijännitteillä lyijylle ja betonille. Tässä työssä käytetyn CNT-kuitulevyn puoliintumispaksuus on monisatakertainen verrattuna lyijyn puoliintumispaksuuteen. 50 kV:n putkijännitteellä säteilyannoksen puolittamiseen tarvitaan CNT-kuitulevyä 600 kertaa paksumpi kerros kuin lyijyä. 100 kV:n ja 125 kV:n putkijännitteillä ero on pienempi: jos säteilyannos halutaan puolittaa, tarvitaan CNT-kuitumateriaalia 168-kertainen paksuus lyijyyn verrattuna.

Mittauksissa käytetyn CNT-materiaalin ero betonin puoliintumispaksuuteen on paljon pienempi kuin lyijyyn verrattuna. 50 kV:n putkijännitteellä säteily määrän puolittamiseen tarvitaan CNT-kuitumateriaalia 4,3-kertainen paksuus betoniin verrattuna, ja 125 kV:n putkijännitteellä annoksen puoliintumiseen riittää 2,5-kertainen määrä CNT-kuitumateriaalia betoniin verrattuna.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittaustulosten perusteella mittauksissa käytettyjen CNT-kuitumateriaalilevyjen matkavaimennuskertoimiksi saatiin $0,15 \text{ cm}^{-1}$ ja $0,17 \text{ cm}^{-1}$, mikä on samaa suuruusluokkaa veden matkavaimennuskertoimen kanssa. Mittaustulos poikkeaa Fujimori ym. (2011, 273-278) tuloksista, mutta koska tutkimuksissa käytetyt mittaussasetelmat ja -parametrit poikkeavat toisistaan huomattavasti, tuloksia ei voida suoraan verrata keskenään.

Mittauksissa käytetyn CNT-kuitumateriaalin puoliintumispaksuus jää etenkin matalilla putkijännitteillä kauaksi lyijyn puoliintumispaksuudesta. CNT-kuitumateriaalia tarvitaan 50 kV:n putkijännitteellä säteilyannoksen puolittamiseen 600 kertaa paksumpi kerros kuin lyijyä. 100 kV:n ja 125 kV:n putkijännitteillä säteilyannoksen puolittamiseen tarvitaan CNT-kuitumateriaalia 168-kertainen paksuus lyijyyn verrattuna. Betoniin verrattuna mittauksissa käytetyn CNT-kuitumateriaalin puoliintumispaksuus on 50 kV:n putkijännitteellä 4,3-kertainen ja 125 kV:n putkijännitteellä 2,5-kertainen.

Mittaussasetelmalla huomattiin olevan vaikutus puoliintumispaksuuteen. Suurimmat arvot puoliintumispaksuudelle saatiin, kun mittari oli kiinni vaimennusmateriaalissa. Puoliintumispaksuudet pienenevät 11-15 %, kun mittarin etäisyys vaimennusmateriaalista kasvatettiin 20 senttimetriin. Sekundaarisäteilyä syntyy siis merkittävästi kevyissäkin materiaaleissa.

8 POHDINTA

8.1 Tutkimustulosten tarkastelu

Työn tarkoituksena oli selvittää, miten hiilinanoputkilla kyllästetty selluloosakuitumateriaali vaimentaa röntgensäteilyä. Mittausten avulla määritettiin tutkittavalle materiaalille matkavaimennuskerroin sekä puoliintumispaksuudet eri putkijännitteillä. Eri mittausasetelmien avulla tarkasteltiin myös sekundaarisäteilyn vaikutusta puoliintumispaksuuteen.

Matkavaimennuskerroin määritettiin kahdelle silmämääräisesti eri pitoisuuden hiilinanokuituputkia sisältävälle levyille. Levyjen matkavaimennuskertoimissa oli 13 % ero keskenään, joten voidaan olettaa, että materiaaliin kyllästetyllä hiilinanoputkien määrällä (vol%) on vaikutusta säteilyn vaimenemiseen. Matkavaimennuskertoimen antamaa informaatiota sinänsä on vaikea suoraan soveltaa käytäntöön. Matkavaimennuskertoimen määrittämisen sijaan olisikin ollut informatiivisempaa määrittää materiaalin massavaimennuskerroin, sillä esimerkiksi Fujimorin ym. (2012, 273-278) tutkimuksessa vertaillaan matkavaimennusvakioiden sijaan massavaimennusvakioita. Massavaimennusvakion määrittämiseksi on tiedettävä materiaalin tiheys (Tapiovaara ym. 2004, 29-30). Koska käytetyt testilevyt olivat muodoltaan hyvin epäsäännöllisiä, mittauksissa käytettyjen levyjen tiheyden tarkka määrittäminen olisi ollut työlästä, eikä tiheyden määrittämistä sisällytetty tähän opinnäytetyöhön.

Puoliintumispaksuus kertoo materiaalista enemmän kuin massa- tai matkavaimennuskerroin, kun mietitään materiaalin soveltuvuutta esimerkiksi röntgentutkimustilojen suojaamiseen. Tämän työn tulosten mukaan työssä käytetyn CNT-kuitumateriaalin puoliintumispaksuus on jopa monisatakertainen lyijyyn verrattuna, joten materiaali ei tällaisenaan ole sovellettavissa ohuisiin suojarakenteisiin. Verrattaessa betoniin testatun CNT-materiaalin puoliintumispaksuus on 50 - 125 kV:n putkijännitteillä 4,3 - 2,5 -ertainen. Tulos antaa viitettä siitä, että materiaalia kehittämällä sitä voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää esimerkiksi rakenteellisissa suojauksissa betonin sijaan. Selluloosakuitumateriaalin etu betoniin nähden olisi sen keveys, mutta toisaalta hiilinanokuidun hinta voi tulla esteeksi materiaalin käytölle.

Sekundaarisäteilyä tiedetään syntyvän huomattavasti etenkin raskaissa materiaaleissa (Akber ym. 2008, 200). Tässä työssä käytetyt eri mittausasetelmat osoittivat, että sekundaarisäteilyä

syntyy merkittävästi myös kevyemmissä materiaaleissa. Detektorin ollessa kiinni vaimennusmateriaalissa puoliintumispaksuus oli jopa 17,5 % suurempi kuin detektorin ollessa 20 cm etäisyydellä vaimennusmateriaalista. Tämä on syytä huomioida vastaavissa tutkimuksissa jatkossakin.

8.2 Tutkimuksen luotettavuus ja turvallisuus

Kvantitatiivisen tutkimuksen luotettavuutta voidaan määritellä käsitteillä reliabiliteetti ja validiteetti. Reliabiliteetti kertoo, onko tutkimus tehty huolellisesti ja ovatko tulokset toistettavissa, eivätkä sattumanvaraisia. Validiteetti kertoo tutkimuksen pätevyyden. Validi tutkimusmenetelmä on kykenevä mittaamaan juuri sitä, mitä on tarkoituskin mitata. Validiutta voidaan arvioida eri näkökulmista, jolloin puhutaan esimerkiksi tutkimusasetelmavalidiudesta. (Hirsjärvi ym. 2010, 231-232.) Tutkimuksen toistettavuutta ajatellen mittausten kulku pyrittiin raportoimaan mahdollisimman tarkasti ja mittausten eri vaiheista otettiin havainnollistavia valokuvia. Mittausmenetelmät suunniteltiin huolellisesti teoriaan ja aiempiin tutkimuksiin pohjautuen siten, että tutkimus olisi validi. Vaikka valitut menetelmät olivatkin valideja, tutkimuksen validiteettia olisi parantanut se, että testilevyt olisivat olleet tasalaatuisempia ja suurempia. Tällöin matkavaimennuskertoimen määrittäminen olisi ollut luotettavampi ja puoliintumispaksuuden määrittäminen olisi saatu tehtyä tarkemmin, kun levyt olisi pystytty pinoamaan tiiviisti päällekkäin.

Luotettavuuden lisäämiseksi jokainen mittaus toistettiin viisi kertaa ja tulokset raportoitiin huolellisesti etukäteen suunnitelluille lomakkeille. Myös käytetyt kuvausparametrit kirjattiin ylös. Mittausasetelmat esiteltiin, jotta varsinaisesta mittausprosessista saatiin mahdollisimman sujuva. Näin pyrittiin myös välttämään sekä systemaattisilta että satunnaisilta virheiltä. Mittauksissa käytetyt levyt olivat laadultaan vaihtelevia, mikä varmasti vaikutti tuloksiin jonkin verran.

Hiilinanoputkien asbestin kaltainen muoto on nostanut esiin kysymyksiä materiaalin mahdollisista terveyshaitoista. Työterveyslaitoksen tutkimuksen (Sund, Palomäki, Ilves, Rydman, Savinko, Koivisto, Vippola, Greco, Wolff, Pylkkänen, Savolainen, Puustinen & Alenius 2013) perusteella on mahdollista, että pitkät ja jäykät hiilinanoputket aiheuttavat terveysongelmia ihmisille, joten kyseisiä materiaaleja käsiteltäessä on huolehdittava riittävästä suojautumisesta ja altistuminen on minimoitava. Turvallisuuskulma huomioitiin tässä työssä siten, että hiilinanoputkia sisältäviä

testikappaleita säilytettiin mittausten ajan suljetuissa muovipusseissa, eikä materiaaleja käsitelty paljain käsin.

8.3 Omat oppimiskokemukset ja jatkotutkimushaasteet

Opinnäytetyöprosessi oli mielekäs, koska aihe oli mielestäni erittäin mielenkiintoinen. Tartuin Olli Mäentaustalta lähtöisin olevaan aiheeseen, koska koin pääseväni soveltamaan aiempaa osaamistani fysiikasta ja hyödyntämään kokemustani kokeellisen tutkimusprosessin läpiviemisestä. Työn konkreettinen luonne ja uuden tiedon tuottaminen motivoi minua läpi prosessin.

Yhteistyö opinnäytetyön tilaajan ja opettajan kanssa on kehittänyt koordinoitakykyäni sovitellessani kiireisiä aikataulujamme yhteen. Olen myös saanut hyvää harjoitusta tulevaisuuden työelämässä tärkeästä keskusteleavasta asiantuntijuudesta eli siitä, miten perustella kantansa ymmärrettävästi toisen ammattiryhmän edustajalle, ottaen toistenkin näkökannan huomioon päätöksiä tehdessä (ks. Isoherranen 2012, 157). Olen myös oppinut sietämään keskeneräisyyttä, sillä sekä omien aikataulujeni että tuotannollisten syiden takia opinnäytetyöprosessissa oli ajoittain pitkiäkin suuntovaihteita, jolloin työ ei edennyt.

Opinnäytetyössä selvitettiin puoliintumispaksuus selluloosakuitumateriaalille, johon oli kyllästetty hiilinanokuituputkia 30 tilavuusprosenttia. Materiaalin valmistuksessa oli kuitenkin haasteita, eivätkä käytetyt CNT-kuitulevyt olleet laadullisesti parhaita mahdollisia, ja eri levyjen välillä oli eroja. Jatkotutkimushaasteena pidän levyjen valmistusprosessin kehittämistä ja mittausten tekemistä levyillä, joihin on kyllästetty useita eri pitoisuuksia hiilinanoputkia. Vastaavanlaisia mittauksia voisi toteuttaa kokeellisesti myös muille materiaaleille.

LÄHTEET

Akber, S. F., Das, I. J. & Kehwar, T. S. 2008. Broad beam attenuation measurements in lead in kilovoltage X-ray beams. Zeitschrift fur Medizinische Physik 18 (3), 197-202.

Archer, B. R., Fewell, T. R., Conway, B. J. & Quinn, P. W. 1994. Attenuation properties of diagnostic x-ray shielding materials. Medical Physics 21 (9), 1499-1507.

Bushong, S. C. 2001. Radiologic science for technologists. Physics, biology and protection. 7th edition. USA: Mosby, Inc.

Fujimori, T., Tsuruoka, S., Fugetsu, B., Maruyama, S., Tanioka, A., Terrones, M., Dresselhaus, M. S., Endo, M. & Kaneko, K. 2011. Enhanced x-ray shielding effects of carbon nanotubes. Materials Express 1 (4), 273-278.

Haarala, N., Kumara, J. & Lunbom N. 2010. Röntgensäteilyn puoliintumispaksuuden selvittäminen. InnoMajakka-hankkeen Radio-projekti.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2010. Tutki ja kirjoita. 15.-16. painos. Helsinki: Tammi.

Isoherranen, K. 2012. Uhka vai mahdollisuus - moniammatillista yhteistyötä kehittämässä. Helsinki: Helsingin yliopisto.

Kananen, J. 2008. Kvantti: Kvantitatiivinen tutkimus alusta loppuun. Jyväskylä: Jyväskylän yliopistopaino.

Karppinen, J. 2011. Rakenteellisista säteilysuojauksista (ST-ohje 1.10). Haettu 16.3.2014. http://www.stuk.fi/proinfo/koulutus/fi_FI/RD2011/_files/85333070394820875/default/PP-esitys-Karppinen-RD2011.pdf

Mäentausta, O., kehitysjohtaja, Mfibrils Oy. 2013. Keskustelu 10.12.2013. Oamk, Sosiaali- ja terveysalan yksikkö.

Sandberg, J & Paltemaa, R. 2002. Ydin- ja säteilyfysiikan perusteet. Teoksessa T. K. Ikäheimo (toim.) Säteily ja sen havaitseminen. Hämeenlinna: Säteilyturvakeskus, 11-63.

Shleien, B, Slaback E.A. Jr. & Birsky B.K. Handbook of health physics and radiological health. 1998. Third edition. Baltimore, Maryland: Williams & Wilkins.

Sund, J., Palomäki, J., Ilves, M., Rydman, E., Savinko, T., Koivisto, J., Vippola, M., Greco, D., Wolff, H., Pylkkänen, L., Savolainen, K., Puustinen, A. & Alenius H. 2013. Hiilinanoputkien aiheuttamien terveysvaikutusten karakterisointi systeemitoksikologian avulla. Tampere: Juvenes Print. Saatavilla http://www.tsr.fi/c/document_library/get_file?folderId=13109&name=DLFE-8927.pdf. Hakupäivä 19.12.2013.

Tapiovaara, M., Pukkila, O. & Miettinen, A. 2004. Röntgensäteily diagnostiikassa. Teoksessa O. Pukkila (toim.) Säteilyn käyttö. Hämeenlinna: Säteilyturvakeskus, 13-180.

Wagner, L. K. & Mulhern, O. R. 1996. Radiation-attenuating surgical gloves: effects of scatter and secondary electron production. Radiology 200 (1), 45-8.

	vaimennusmateriaalin hiilinanoputkipitoisuus (vol%)		
	5	10	30
lisäsuodatus (mmCu + mmAl)			
kenttäkoko (cm x cm)			
putkijännite (kV)			
sähkömäärä (mAs)			
säteilyannos ilman vaimennusta (μGy)			
säteilyannos ilman vaimennusta (μGy)			
säteilyannos ilman vaimennusta (μGy)			
säteilyannos ilman vaimennusta (μGy)			
säteilyannos ilman vaimennusta (μGy)			
vaimentunut säteilyannos (μGy)			
vaimentunut säteilyannos (μGy)			
vaimentunut säteilyannos (μGy)			
vaimentunut säteilyannos (μGy)			
vaimentunut säteilyannos (μGy)			

vaimennusmateriaalin hiilinanoputkipitoisuus (vol%)	
sähkömäärä (mAs)	
lisäsuodatus (mmCu + mmAl)	
kenttäkoko (cm x cm)	

putkijännite		
säteilyannos (μGy)		
testilevyn paksuus (cm)	1m etäisyydellä	1,2 m etäisyydellä
0		
0		
0		
0		
0		
0,5		
0,5		
0,5		
0,5		
0,5		
1		
1		
1		
1		
1		
1,5		
1,5		
1,5		
1,5		
1,5		
2		
2		
2		
2		

2		
2,5		
2,5		
2,5		
2,5		
2,5		
3		
3		
3		
3		
3		
3,5		
3,5		
3,5		
3,5		
3,5		
4		
4		
4		
4		
4		
4,5		
4,5		
4,5		
4,5		
4,5		
5		
5		
5		
5		
5		

Mittaustulokset ja keskiarvot matkavaimennuskertoimen määrittystä varten

Säteilyannos ilman vaimennusta (μGy)		Vaimentunut säteilyannos (μGy)			
		Levy 1		Levy 10	
939,2		872,6		861,6	
934,5		873,4		860,5	
935,5		871,8		861,4	
939,5		872,1		861,0	
937,6		864,9		860,1	
keskiarvo	937,26	keskiarvo	870,96	keskiarvo	860,92
ln(keskiarvo)	6,84	ln(keskiarvo)	6,77	ln(keskiarvo)	6,76

Mittaustulokset puoliintumispaksuuden määrittämistä varten, kun mittarin etäisyys vaimennuslevyistä 0 cm

	putkijännite				
	50 kV	70 kV	100 kV	125 kV	140 kV
levyjen paksuus (cm)	säteilyannos (μGy)				
0	209,6	466,1	931,9	1387	1675
0	209,4	467,4	932,8	1388	1677
0	209,6	466,3	932,8	1389	1679
0	209,4	467	931,7	1391	1675
0	209,3	466,8	932,4	1387	1679
0,5	189,7	431,1	871,5	1306	1592
0,5	188,9	431,6	871,1	1311	1593
0,5	189,4	431,3	870,9	1304	1591
0,5	188,8	432,1	871,3	1305	1588
0,5	189	431,9	869,9	1310	1583
1	167,4	393,3	803,1	1221	1480
1	167,6	393,9	804,3	1220	1486
1	167,4	393,6	807,9	1219	1482
1	167,5	393,7	805	1222	1481
1	167,4	393,8	807,2	1222	1486
1,5	148,2	356,3	746	1135	1394
1,5	148,1	355,7	748,8	1138	1393
1,5	148,2	356	745,8	1137	1397
1,5	148,3	355,7	746,6	1142	1393
1,5	148,3	355,4	747,6	1137	1392
2	134,2	322,2	688,3	1068	1319
2	134,3	322,3	685,9	1071	1226
2	134,4	322,1	687,2	1070	1316
2	134,4	322,2	688,3	1066	1319
2	134,2	321,8	687,8	1066	1226
2,5	119	285,3	618,6	969	1198
2,5	118,9	284,8	619,7	969,2	1197
2,5	118,8	284,7	618,9	972,5	1196
2,5	118,9	284,8	618,1	972,7	1201
2,5	118,8	285,2	621,3	971,5	1198
3	101,7	251,2	552,9	883	1088
3	101,5	250,7	553,4	879	1088
3	101,5	251	551,1	881,5	1090
3	101,5	249,1	553,1	882,2	1089
3	101,6	250,9	554,5	882,2	1089
3,5	90,58	227	509	816,3	1012
3,5	90,66	226,5	509,2	814,3	1012
3,5	90,77	227,5	508,8	816,8	1009
3,5	90,51	227,4	509,6	813,8	1013
3,5	90,75	226,8	509,7	812,8	1011
4	82,47	209,1	470,5	762,7	942,5
4	82,48	209	471,2	762,7	944

4	82,33	209,2	471,1	763,3	943,3
4	82,08	209,1	471,3	763,3	946,4
4	82,26	209,2	472,3	763,9	945,9
4,5	73,74	192,1	441,6	712,4	881,1
4,5	73,64	191,8	443,6	710,4	883,7
4,5	73,72	192	444,5	713,4	884,5
4,5	73,5	191,7	442	711,8	885
4,5	73,77	191,5	443,5	714,1	881,8
5	65,08	175,2	407,2	662,7	834,9
5	65,06	175,3	405,8	661,4	832,1
5	64,97	175,1	406,3	662,2	836,8
5	65,13	175,5	407,3	663,1	837,1
5	65,05	175,5	406,6	662,8	836,6

Mittaustulokset puoliintumispaksuuden määrittämistä varten, kun mittarin etäisyys
vaimennuslevyistä 20 cm

	putkijännite				
	50 kV	70 kV	100 kV	125 kV	140 kV
levyjen paksuus (cm)	säteilyannos (μGy)				
0	144,7	323,7	649,9	969,3	1173
0	144,3	323,4	653,6	974,5	1175
0	144,4	323,5	650,8	969,8	1177
0	144,5	323,5	650,7	969,6	1176
0	144,3	323,2	650,6	971,5	1177
0,5	128	291	595,7	891,6	1091
0,5	127,9	290,8	597	890	1088
0,5	128,2	291,1	596,1	892,3	1092
0,5	128	290,8	597,6	890,9	1089
0,5	128,3	290,7	598,9	893,1	1091
1	111,9	260,7	539,7	814	1003
1	111,8	260,9	541,2	813,3	1002
1	111,8	260,3	540,8	814,7	1002
1	112,1	260,2	541,5	815,1	1003
1	111,9	260,5	541,2	816	1003
1,5	98,74	235,3	498,9	758,1	934,9
1,5	98,87	235,4	498,6	759,6	932,6
1,5	98,87	235	499,1	759,4	931,9
1,5	99,01	234,9	498,2	759,6	932,7
1,5	98,77	235,1	498,3	757,7	932,6
2	87,82	212,8	457,1	702,8	864,8
2	87,79	213	453,8	699,3	867,7
2	87,8	212,6	454,9	700,7	867,7
2	87,84	212,8	455,9	701,1	867,8
2	87,79	212,5	456,8	700,6	867,1
2,5	75,1	186,1	404,3	632	783,7
2,5	74,94	186	405	629,9	783,7
2,5	74,81	186,3	404,7	630,3	782,7
2,5	75,01	186,3	403,5	628,9	781,8
2,5	75,13	186,1	404,3	631,3	783
3	62,37	163,1	360,5	566	709,1
3	62,36	162,7	360,5	564,5	708,5
3	62,41	162,9	360,4	564,9	708,3
3	62,38	163,1	360,2	565,4	708,9
3	62,31	163,1	358,7	567,4	708,9
3,5	54,78	146,3	330,6	517,8	650,4
3,5	54,97	146,5	329,2	518,7	648,7
3,5	54,79	146,6	329	516,7	652,5
3,5	54,89	146,7	328,8	519	651,2
3,5	54,83	146,4	330,1	517,4	650
4	50,04	133,1	310,1	484,6	609,9
4	50	133,1	310,1	484,2	609,5

4	49,95	133,2	310,3	485,5	610,6
4	50,04	133,4	311,4	483,7	609,3
4	50,02	133,1	310,8	483	610,8
4,5	44,04	120,3	284,9	451,7	562,5
4,5	44,09	120,7	284,7	449,9	562,7
4,5	43,97	120,2	285,3	452,2	564,3
4,5	43,92	120,1	284,9	452	563,9
4,5	43,96	120	285,6	451,8	562,7
5	38,96	106,1	261,1	418,2	518,1
5	38,85	106,6	262,6	418,3	517
5	38,85	106,5	263,1	417,2	518,4
5	38,74	106,1	262,1	418	517
5	38,75	106,6	262,4	418,4	517,4